

**DIE VERTEILUNG DER FETTSÄUREN
IM MENSCHLICHEN SERUM
BEI FETTREICHER ERNÄHRUNG
MIT EINER FORMELDIAT**

Gerhard Hausmann

1976



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553812_0052

AUS DER MEDIZINISCHEN POLIKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Prof. Dr. N. Zöllner

DIE VERTEILUNG DER FETTSÄUREN IM MENSCHLICHEN SERUM BEI
FETTREICHER ERNÄHRUNG MIT EINER FORMELDIÄT

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde an der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München



vorgelegt von

Gerhard Hausmann

aus München

München 1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München

Berichterstatter: PD.Dr. G. Wolfram
Mitberichterstatter: Prof.Dr. N. Zöllner
Dekan: Prof.Dr.W.Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 13. 7. 76



Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung

II. Versuchsdurchführung

- a) Versuchspersonen
- b) Versuchsanordnung
- c) Formeldiät
- d) Blutentnahme
- e) Lipoidextraktion aus dem Serum
- f) Vorbereitung zur Gaschromatographie
 - 1. Säulenchromatographie
 - 2. Dünnschichtkontrollchromatographie
 - 3. Umesterung
 - 4. Ausäthern
 - 5. Dünnschichtchromatogramm
 - 6. Säulenchromatogramm (Abtrennen der Methylester)
 - 7. Dünnschichtchromatographie
 - 8. Hydrierung
- g) Gaschromatographische Analyse der hydrierten und unhydrierten Substanzen
- h) Auswertung der Chromatogramme

III. Ergebnisse

IV. Diskussion

V. Zusammenfassung

VI. Literaturverzeichnis

I. EINLEITUNG.

Dem Fett kommt in der Ernährung des Menschen eine zweifache Bedeutung zu. Zum einen ist es ein wichtiger Energieträger und zum andern in Form der essentiellen Fettsäuren ein lebensnotwendiger Nahrungsbestandteil. Die Aufgabe als Kalorienträger können unter extremen Bedingungen auch Eiweiße und Kohlenhydrate übernehmen, doch es muß in der Nahrung stets ein Minimum an essentiellen Fettsäuren enthalten sein um einer Verarmung des Organismus an diesen essentiellen Fettsäuren vorzubeugen und das Auftreten von Mangelercheinungen zu verhindern.

BURR und BURR (2) provozierten 1929 an der Ratte durch eine fettfreie Ernährung ein Mangelsyndrom, das durch Gabe von Linolsäure wieder behoben werden konnte. Mangelercheinungen an essentiellen Fettsäuren konnten auch in Versuchen durch entsprechende Fütterung an vielen anderen Tierspezies erzeugt werden (1). Das hier absichtlich heraufbeschworene klinische Bild reichte von einer Dermato-
matose mit Schuppung, Haarausfall mit Schwanznekrose über eine erhöhte Wasserabgabe durch Haut und Lungen und Veränderungen an der Niere bis zu Störungen von Wachstum und Fruchtbarkeit. Ein Teil der Tiere starb an den Veränderungen der Niere. Auch zeigte sich eine geringgradige Anämie (1,13), sowie eine Störung der Wundheilung (6).

Über die essentiellen Fettsäuren und deren Funktionen im menschlichen Organismus ist verhältnismäßig noch wenig bekannt. In Zellmembranen eingebaut, sind mehrfach ungesättigte Fettsäuren an membranständigen Enzymsystemen beteiligt. Etwas Licht in diese Vorgänge brachte in den vergangenen Jahren der Nachweis einer Synthese von (8) Prostaglandinen aus Arachidonsäure (20:4). Die wichtigste essentielle Fettsäure für den Menschen ist die Linolsäure (18:2), weil der Organismus andere Fettsäuren vom Typ der Linolsäure, vor allem die Arachidonsäure aus der Linolsäure aufbauen kann und außerdem in der menschlichen Nahrung der größte Teil der essentiellen Fettsäuren als Linolsäure vorliegt.

Die ersten Versuche am Menschen, Fett als essentiellen Nahrungsbestandteil nachzuweisen, führte von GRÖER 1919 durch (10), das heißt schon 10 Jahre vor von BURR und BURR's Versuchen an der Ratte.

Beim Kind beschreibt HOLT 1935 nach fettarmer Kost Haut-effloreszenzen (14). WIESE und HANSEN beobachteten 1958 Mangelsymptome am Säugling unter einer fettarmen Milchnahrung, die sich innerhalb von 4 - 6 Wochen als generalisierte Hautveränderungen, im Sinne einer Schuppung und tastbaren Verdickung klinisch darstellten (11,23). In der Folgezeit wurden noch mehr Fälle von Mangel an essentiellen Fettsäuren bekannt (3,18). Die Erklärung für einen physiologischen Mangel an essentiellen Fettsäuren beim Neugeborenen ist darin zu suchen, daß langkettige Fettsäuren scheinbar die Plazentaschranke nicht passieren können. Der Erwachsene hat im Gegensatz zum Säugling einen Vorrat von mehr als 500 g Linolsäure im Fettgewebe.

was wiederum Mangelsymptome an essentiellen Fettsäuren beim Erwachsenen nur unter äußerst extremen Bedingungen, z. B. parenterale Ernährung über einen längeren Zeitraum hinweg, manifest werden lassen. Ein derartiger Fall wurde 1968 von COLLINS und Mitarbeitern beobachtet (4). Nach etwa 70 Tagen einer fettfreien parenteralen Ernährung trat ein Hautausschlag auf, der nach Gaben von Linolsäure verschwand. Unter erneuter fettfreier Ernährung kam es zu einem Rezidiv, das auf Linolsäurezufuhr zurückging. Eine Anämie beserte sich deutlich nach Zufuhr von Linolsäure.

Daraus geht hervor, daß die absolute Notwendigkeit der essentiellen Fettsäuren für die Gesundheit des Menschen aufgrund der bisher bei Kindern und Erwachsenen beschriebenen klinischen Ausfallerscheinungen gegeben ist, wenngleich klinisch erfaßbare Symptome nur unter extremen Bedingungen, z. B. vollständige parenterale Ernährung ohne Fett über einen längeren Zeitraum auftreten. Veränderungen an der Haut, Anämie, Trombocytopenie und verzögerte Wundheilung sind eindeutige Zeichen mit Krankheitswert. Jedoch nach Gaben von Linolsäure ist der menschliche Organismus in der Lage diese Erscheinungen wieder zu beheben. In diesem Zusammenhang ist die Frage nach dem tatsächlichen Tagesbedarf des erwachsenen Menschen an Linolsäure von großem Interesse.

Dieser Bedarf ist immer noch nicht eindeutig bekannt und die Angaben der einzelnen Autoren für den Tagesbedarf an essentiellen Fettsäuren schwanken zwischen 5g und 20g (12,16,17,19,20). Anhand von Versuchen, die in der Poliklinik der Universität München an gesunden jungen Versuchspersonen durchgeführt wurden, liegt der tägliche Bedarf des Erwachsenen

im Mittel bei 7 g oder 2,3 % der Kalorien pro Tag (24).

Die Menge von 7 g Linolsäure ist in etwa 150 ml einer 10 % Fettemulsion aus Sojaöl enthalten.

In diesem Ernährungsversuch mit Formeldiät an 6 gesunden, erwachsenen Personen soll zum einen die Beziehung zwischen Fettsäurenspiegel und fettreicher Nahrung, zum anderen die Beziehung zwischen Fettsäurenspiegel und kohlehydratreicher Nahrung gezeigt werden. Zu diesem Zweck lief der 6 Wochen dauernde Versuch in 2 Teilen ab. Jeweils 3 Versuchspersonen erhielten die ersten 3 Wochen fettreiche bzw. kohlehydratreiche Nahrung und in den letzten 3 Wochen wurden die Kostformen vertauscht. Diese Ausführungen konzentrieren auf die Ergebnisse mit der fettreichen Formeldiät.

II. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG.

a) Versuchspersonen (VP)

Alle sechs an dem Versuch teilnehmenden Personen waren anamnestisch und klinisch gesund. Dabei war eine spezielle Untersuchung des Blutes auf normale Cholesterinwerte notwendig, um so eine gleichmäßige Ausgangsbasis für den Beginn des Versuchs zu schaffen. Jede Versuchsperson erhielt täglich 3000 cal an Nahrung, so daß das Gewicht der Versuchspersonen während des Versuchs nie mehr als um 3 % des Anfangsgewichts nach oben oder unten differierte.

Tabelle 1 Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, Kalorienzufuhr

VP	ALTER	GESCHL.	GRÖSSE (cm)	GEW. in Kg	NAHRUNG in cal.
A	28	♂	181	81	3 000
B	24	♂	178	70	3 000
C	27	♂	178	75	3 000
D	25	♂	177	76	3 000
E	25	♂	174	70	3 000
F	23	♂	182	83	3 000

b) Versuchsanordnung

Dieser Versuch an dem sich 6 Versuchspersonen beteiligten, lief in 2 Gruppen von je 3 Versuchspersonen ab. Die erste Gruppe von Versuchspersonen (A B C) nahm von Versuchsbeginn an 3 Wochen lang fettreiche Formeldiät zu sich, während die zweite Gruppe (D E F) kohlenhydratreiche Formeldiät aufnahm. Nach drei Wochen tauschten die Gruppen die Versuchsdiät. Diese Ausführungen beziehen sich auf die Perioden, in denen fettreiche Formeldiät aufgenommen wurde. Jeweils 3 Versuchspersonen (A B C) sind von normaler Nahrung auf fettreiche Formeldiät übergewechselt, 3 Versuchspersonen (D E F) haben nach 3 Wochen kohlenhydratreicher Nahrung fettreiche Formeldiät zu sich genommen.

c) Formeldiät

Während des Versuches durften die Versuchspersonen nur die Formeldiät als Nahrung zu sich nehmen und zusätzlich täglich eine Kapsel des Vitaminpräparats "Multibionta forte". Als Geschmackskorrigentien waren Kaffee, Tee und Zitronensäure erlaubt. Getrunken werden konnten ungesüßter Kaffee und Tee, Leitungswasser oder Mineralwasser. Durch Änderung des Saflorölgehalts der Formeldiät von 2 g auf 6 g wurde die Linolsäurezufuhr bei drei der Versuchspersonen auf 7,4 g, bei den anderen drei auf 10,2 g pro Tag festgelegt.

Tabelle 2 Zusammensetzung der fettreichen Formeldiät

NAHRUNGS- MITTEL	EIWEISS	FETT	KH	CAL	CHOL	GES. FETT	1-fach unges.	mehrfach unges.
340g MAGNESEUM- PULVER	108,5	3,1	161,2	1147,0	—	2,16	0,61	0,03
20g MALTOSEX- TRIN	—	—	18,9	77,4	—	—	—	—
221,4g BUTTER	1,8	184,9	0,7	1719,9	620	128,13	36,60	1,67
6g SAFLOBDL	—	6,0	—	55,8	—	0,65	0,65	4,10
GESAMT	110,3	194,0	180,8	3000,1	620	130,94	37,87	5,80
% ANTEIL	15%	60%	25%					
2g NaCl 1g KCl 580mg CHOLEST.								

d) Blutentnahme

Zweimal wöchentlich wurde den Versuchspersonen aus einer Armvene Blut entnommen. Die Blutabnahme erfolgte morgens und die Versuchspersonen mußten 12 Stunden lang nüchtern sein. Das gewonnene Blut wurde sodann in der Zentrifuge zentrifugiert. Das leichtere Serum wurde abpipettiert und für die verschiedenen Analysen verwendet.

e) Lipoidextraktion aus dem Serum

Die von W. M. SPERRY (24) entwickelte Methode zur Lipoidextraktion aus dem Serum diente in allen weiteren Untersuchungen zur Gewinnung der Lipide aus dem Serum. Im wesentlichen handelt es sich hier um die Extraktion der Lipide unter Verwendung eines Chloroform - Methanolgemisches im Verhältnis 2:1 und anschließender Reinigung mit wässriger 2 %iger CaCl_2 - Lösung. Diese ermöglicht eine Abtrennung in eine untere, lipoidhaltige Chloroformphase und in eine obere Wasser - Methanolphase.

Nach einer Standzeit von mindestens 24 Stunden wurde die Chloroformphase im Rotationsverdampfer eingedampft. Der erhaltene Rückstand wurde in 3 x 2 ml Chloroform gelöst und unter Zuleitung von Stickstoff luftdicht in Ampullen eingeschmolzen. Durch dieses Verfahren konnte eine Oxydation der Lipide in den Lipoidextrakten verhindert werden (25). Wie frühere Versuche in dem selben Labor zeigten, können auf diese Weise behandelte Lipoidextrakte über einen längeren Zeitraum gekühlt aufbewahrt werden, ohne

daß eine Oxydation den Verlust der ungesättigten, essentiellen Fettsäuren hervorrufen würde.

f) Vorbereitung zur Gaschromatographie

1. Abtrennen der Cholesterinester mit Hilfe der Säulenchromatographie:

Dies vollzog sich in folgender Apparatur:

Einem Glasrohr wurde eine Auslaufspitze aufgesetzt, in der sich ein Glasnagel mit 6 - 7 Glaskügelchen (2-3mm) und Filtrierpapier befanden. Das Auslaufen der Kieselgelsäule verhindert der Glasnagel mit der darüber befindlichen Schicht von Glaskügelchen und das Filtrierpapier, das an der Wand des Glasrohres bündig anliegt. 6 g Kieselgel (Fa. Merck, Korngröße 0,05 - 0,20 mm) wurden in 5 - 10 ml Petroläther (Kp 50-70 °) geschüttet und auch nach oben mit Filtrierpapier abgedeckt, das der Wand des Glasrohres eng anliegt. Mit Hilfe eines Glasstabes wird die Kieselgelsäule leicht komprimiert. Es muß besonders darauf geachtet werden, daß erstens die Säule nicht trocken ausläuft und zweitens Luftblasenbildung in der Säule vermieden wird. Nun erfolgt das vorsichtige Einpipettieren des Lipoidextrakts mit Petroläther. Anschließend wird, um nichts an Substanz zu verlieren, die Innenwand des Glasrohres nochmals mit Petroläther nachgespült.

Tabelle 2 Säulenchromatographische Trennung der
Cholesterinester

	ELUTIONSMITTEL	FRAKTIONEN
VORLAUF	15 - 20 ml PETROLÄTHER	ZU VERWERFEN
1. LAUF	80 ml 5% ÄTHER (4 ml DIÄTHYLÄTHER od. 80 ml P.A.)	COLESTERINESTER TRIGLICERIDE

2) Dünnschichtkontrollchromatographie:

Zur Bestimmung der Reinheit der in den einzelnen Reagenzgläsern befindlichen Fraktionen eignet sich am besten eine 20 x 20 cm große mit Kieselgel nach Stahl der Fa. Merck beschichtete Dünnschichtglasplatte (22). Nun werden 0,05 - 0,1 ml von jeder Fraktion mit jeweils eigener Pipette auf der Platte nebeneinander aufgetragen. Anschließend legt man die Dünnschichtplatte in ein eckiges, verschließbares Glasgefäß mit dem Laufmittel. Dieses setzt sich aus einem Gemisch von Eisessig, Methyläthylketon und Petroläther im Verhältnis 1 : 4 : 95 (26) zusammen. Ist das Laufmittel am oberen Rand der Platte angelangt, wird sie herausgenommen und im Abzug getrocknet. Die Platten werden nun gleichmäßig mit 50 % - iger Schwe-

felsäure besprüht und im elektrischen Ofen mit 120 - 160 ° getrocknet. Anhand sichtbar werdender Laufpunkte der einzelnen Fraktionen werden die entsprechenden Reagenzgläser in Rundkolben zusammengeschüttet.

3) Umesterung:

Eine Umesterung ist notwendig, da Fettsäuren im dampfförmigen Zustand leicht zur Dimerisierung neigen, was wiederum zu asymmetrischen Banden im Gaschromatogramm führt (25). Die Lipidfraktionen werden in 10 ml Methylacetat gelöst und mit 20 ml einer 5 % - igen wasserfreien, methanolischen Salzsäure versetzt. Beim anschließenden Kochen über 1 - 2 Std. bei 70 ° C im Rückfluß, können Trübungen auftreten, die wieder verschwinden (9). Nach Auskühlen der Lösung werden die Lipide durch Äther - Petroläther (1:1) extrahiert, mit Aqua dest. neutral gewaschen und über Natriumsulfat getrocknet. Eine unerwünschte Oxydation verhindert ein schwacher Stickstoffstrom über eine Gaseinleitungs-
haube.

4) Ausäthern:

Ein kleiner Rührmagnet wird in das Reagenzglas getan, ebenso werden 1ml Aqua dest. und 2 ml Äther - Petroläther im Verhältnis 1 : 1 hineingeschüttet. Der Rührmagnet wird mit Hilfe eines Motors in Rotation versetzt

und das Gemisch 3 Minuten lang gut durchgerührt. Sodann wird die obere Phase mittels einer Saugpipette in ein Schliffzentrifugenglas getan. Dies wird insgesamt drei Mal wiederholt und stets die obere Phase abgetrennt. Hierzu gibt man 1 ml Aqua dest. und 2 Tropfen gesättigter Na HCO_3 und verrührt wiederum ca. 3 Minuten. Das Wasser wird nun wieder abgesaugt und der pH-Wert kontrolliert, dieser soll neutral sein. Ist der pH-Wert nicht neutral, so muß wieder mit Aqua dest. gewaschen werden (bis zu 3 x). Beim Ausäthern ist besondere Vorsicht beim Absaugen geboten, um keine Substanz zu verlieren.

5) Dünnschichtchromatogramm:

Dies dient als Kontrolle für den ordnungsgemäßen Ablauf des Umesterns und Ausätherns. Der technische Vorgang ist derselbe wie unter Punkt 2.

6) Abtrennen der Methylester mit Hilfe der Säulenchromatographie:

Über eine Kieselgelsäule erfolgt nochmals eine Trennung der eingeeengten Substanzen. Die Menge Kieselgel wurde auf 4 g reduziert und der Vorgang der Elution wurde geändert.

Tabelle 4 Elutionsmittel und Fraktionen

	ELUTIONSMITTEL	FRAKTIONEN
VORLAUF	15-20 ml PETROLÄTHER	ZU VERWERFEN
1. LAUF	40 ml 5% ÄTHER (2 ml DIÄTHYLÄTHER od. 38 ml PH)	FETTSÄUREMETHYL- ESTER
2. LAUF	40 ml CHLOROFORM	FREIES CHOLESTERIN

7) Dünnschichtchromatographie:

Der technische Vorgang ist gleich wie bei Punkt 1. Hierdurch wird überprüft, wieviel Substanz auf dem bisherigen Weg verlorengegangen ist. So kann man in etwa ersehen, welche Verdünnung zum Einspritzen in den Gaschromatographen gewählt werden muß.

8) Hydrierung:

Zur Hydrierung wurde jeweils die Hälfte der Methyl-ester verwendet (25). Die in Methanol gelösten Fettsäuremethylester werden unter Wasserstoffatmosphäre und unter ständigem Rühren 1 - 2 Std. hydriert, bis sie keinen Wasserstoff mehr aufnehmen. Palladiumkohle als Katalysator verkürzt diesen Vorgang. Die

hydrierten Substanzen werden abpipettiert, filtriert, eingedampft, in Ampullen verschlossen und zur späteren Verarbeitung aufbewahrt.

g) Gaschromatographische Analyse der hydrierten und un-
hydrierten Substanzen

1. Die Trennung der Fettsäuremethylestergemische der Cholesterinester wurde in einem mit einem Argondetektor ausgerüsteten Gaschromatograph "Modell 840" der Fa. Packard Instruments, USA, vorgenommen. Die Säulenfüllung bestand aus 20 % igen Bernstein-säure-Äthylen-Glycol-Polyester auf Chromosorb, modifiziert nach CRAIG und MURPHY (5). Sie ergibt eine fast vollständige Trennung der gesättigten und ungesättigten Fettsäuren gleicher Kettenlänge. Das Methylestergemisch wurde eingedampft, anschließend in 1 - 2 % igem Chloroform gelöst und mit Hilfe einer Mikroliterspritze der Fa. Hamilton USA eingespritzt.

Tabelle 5 Technische Daten des Gaschromatographen
Packard 840

INLET	200 °C
DETEKTOR	213 °C - 215 °C
SÄULENTEMPERATUR	170 °C
AUSLASSTEMPERATUR	210 °C
TRÄGERGAS	ARGON
GASDURCHFLUSS	50 ml/min
SÄULENABMESSUNG	180 x 0,4 cm
EMPFINDLICHKEIT	3×10^{-9}
PAPIERVORSCHUB	4 inch/h

h) Auswertung der Chromatogramme

Die einzelnen Fettsäuren werden nach der von DOLE (7) angegebenen Nomenklatur benannt. Hieraus ersieht man vor dem Doppelpunkt die Anzahl der C - Atome, die Zahl dahinter gibt die vorhandenen Doppelbindungen an.

Die auf den Chromatogrammen erhaltenen Kurven der einzelnen Fettsäuren wurden zu Dreiecken ausgezeichnet. In diese Dreiecke wurde das Lot auf die Basis gefällt, so daß sich aus Höhe mal Basis der Flächeninhalt errechnete.

Die Summe aller Flächeninhalte wurde gleich 100 % gesetzt. Zuerst wurden die Flächeninhalte der hydrierten Substanzen berechnet. Diese mußten noch mit einem Korrekturfaktor multipliziert werden, da die Fläche einer Kurve der eingespritzten Gemischmenge zwar proportional ist, die gleiche Menge verschiedener Fettsäuren in einem Gaschromatogramm aber nicht gleich ist (15). Anschließend errechnet man aus dem Chromatogramm des unhydrierten Gemisches die Flä-

cheninhalte der Fettsäuren mit gleicher Kettenlänge, aber mit verschiedenem Sättigungsgrad. Der prozentuale Anteil der ungesättigten Fettsäure ergibt sich aus dem direkten Vergleich.

III. Ergebnisse:

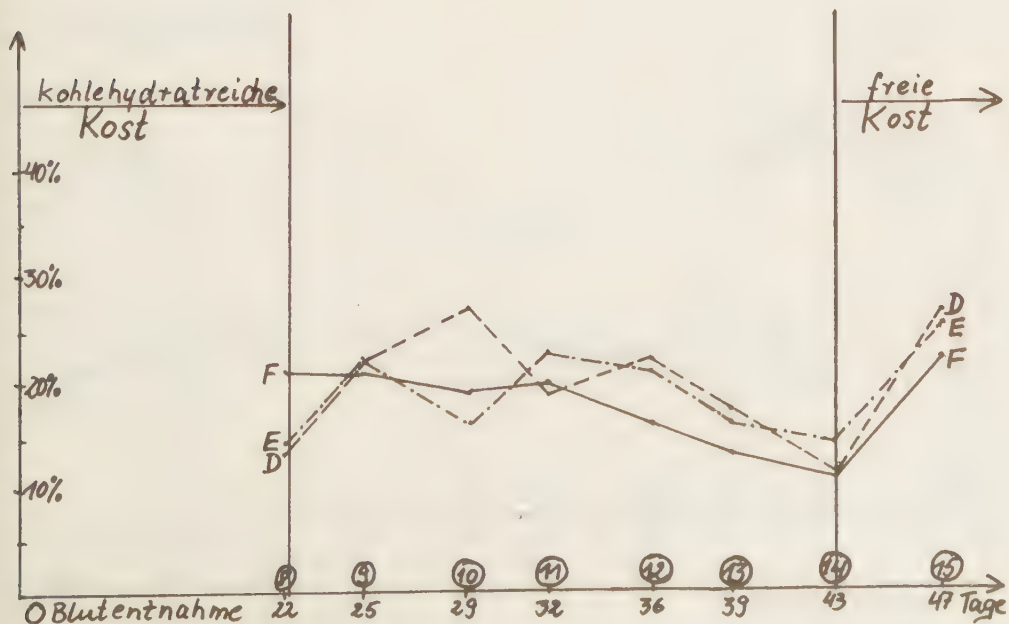
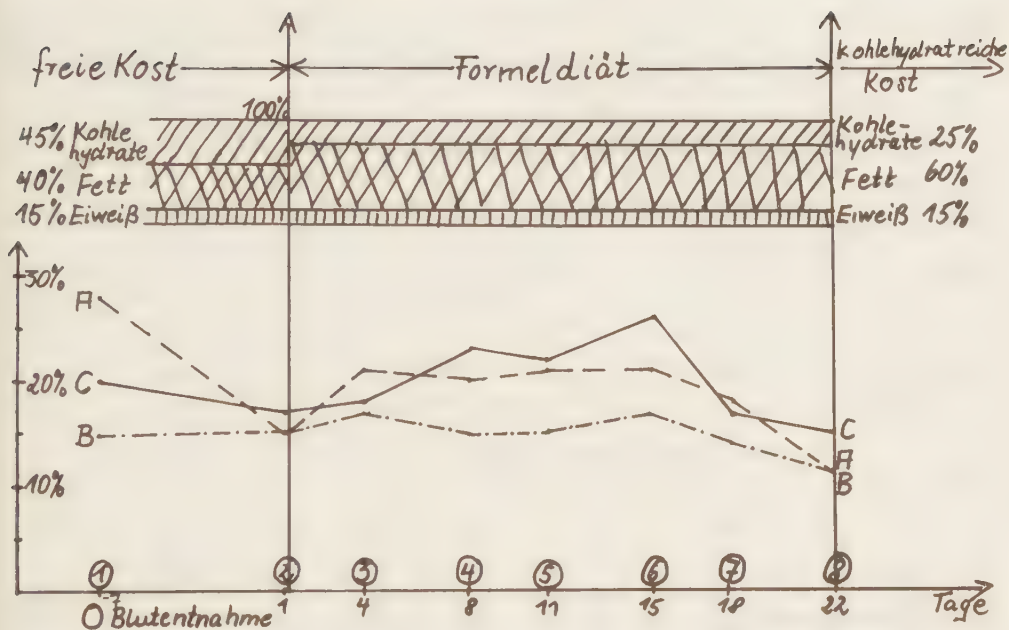
Die verabreichte Formeldiät wurde von allen Versuchspersonen nach einer geringen Eingewöhnungszeit gut vertragen, wenn auch einige Versuchspersonen anfangs über Meteorismus und Diarrhoen klagten. Ein bemerkenswerter Leistungsabfall zeigte sich bei keiner Versuchsperson, obgleich einige über Schlaflosigkeit berichteten. Es war auch über die ganze Dauer des Versuches von keiner Versuchsperson eine größere Gewichts - zunahme bzw. - abnahme zu vermelden. Ohne Probleme vollzog sich auch der Wechsel von fettreicher auf kohlenhydratreiche Kost. Auch die Umstellung von 6 wöchiger Versuchskost auf Normalkost bereitete allen Versuchspersonen keinerlei Schwierigkeiten.

Tabelle 6

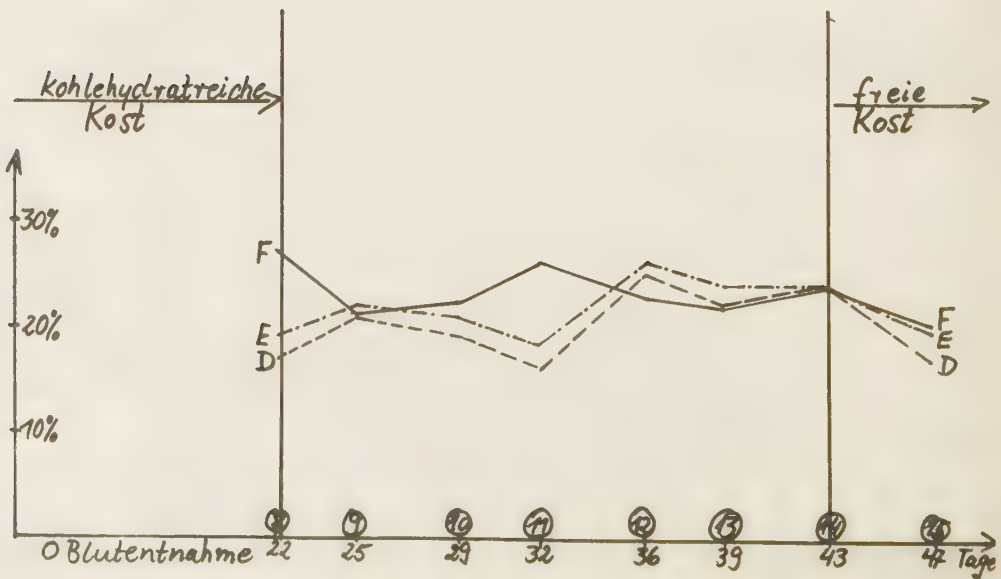
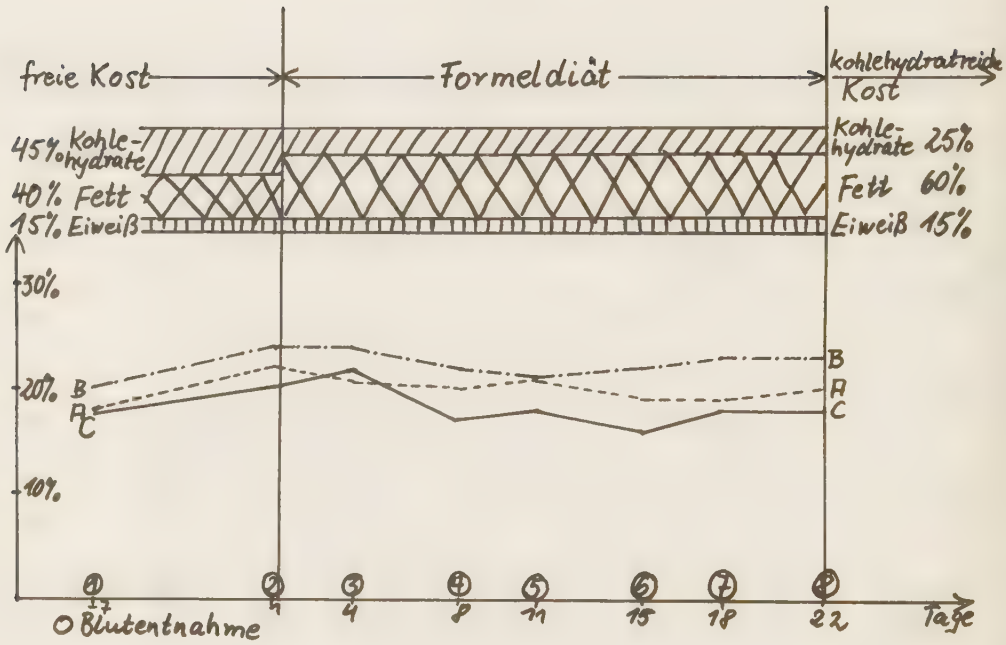
	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	20:4
A ₁	7,7	28,0	4,0	5,2	17,9	28,8	8,4
B ₁	7,9	15,2	3,5	1,8	20,4	43,3	7,9
C ₁	4,6	19,9	2,4	7,6	17,8	33,5	14,2
A ₂	10,9	15,4	3,8	1,6	21,8	40,1	6,4
B ₂	5,6	14,5	4,4	1,8	24,1	43,3	6,3
C ₂	8,5	16,8	5,0	1,6	20,1	41,9	6,1
A ₃	5,8	21,4	3,6	8,4	20,9	28,6	11,3
B ₃	8,4	17,2	4,1	2,5	24,4	36,7	6,7
C ₃	10,3	17,6	5,8	3,3	21,6	32,7	8,7
A ₄	9,0	19,6	2,6	5,4	20,2	32,4	10,8
B ₄	13,3	15,2	4,0	2,5	21,7	35,6	7,7
C ₄	6,4	22,6	2,2	6,8	17,5	30,0	14,5
A ₅	11,2	20,6	5,8	4,7	20,9	28,3	8,5
B ₅	15,7	14,6	4,5	3,0	21,0	33,3	7,9
C ₅	6,5	22,1	3,6	5,9	18,5	33,7	9,7
A ₆	15,5	21,3	3,3	5,1	18,6	28,1	8,1
B ₆	12,4	17,2	3,4	4,5	22,2	34,2	6,1
C ₆	13,8	26,5	2,5	4,5	16,4	28,2	8,1
A ₇	6,5	17,5	3,8	1,4	18,5	42,4	9,9
B ₇	8,5	13,7	4,8	1,5	22,8	41,0	7,7
C ₇	15,2	16,7	3,2	3,9	17,9	35,6	7,5
A ₈	18,7	11,4	3,2	2,9	19,6	35,5	8,7
B ₈	11,9	9,6	3,7	1,4	22,7	43,8	6,9
C ₈	19,2	15,4	5,3	1,5	18,3	35,3	5,0

	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	20:4
D ₈	13,3	12,8	4,3	1,3	18,6	42,3	7,4
E ₈	13,9	13,6	3,7	4,0	19,2	33,2	12,4
F ₈	16,4	20,6	3,9	2,1	27,0	29,7	6,3
D ₉	5,5	22,1	4,7	7,8	20,6	29,1	10,2
E ₉	9,9	22,0	4,9	5,7	22,2	27,8	7,5
F ₉	10,7	20,7	5,1	6,2	21,3	29,5	6,5
D ₁₀	12,2	27,2	3,5	5,4	18,7	26,9	6,1
E ₁₀	9,2	16,0	5,2	5,0	21,3	31,4	11,9
F ₁₀	8,6	18,9	4,1	6,7	22,3	24,6	14,8
D ₁₁	19,2	18,7	4,6	5,3	16,5	27,3	8,4
E ₁₁	9,7	21,5	4,4	10,9	17,9	25,1	10,5
F ₁₁	6,7	19,9	4,8	5,6	25,5	26,6	10,9
D ₁₂	7,0	22,3	3,4	5,5	24,9	29,5	7,4
E ₁₂	7,9	20,7	3,3	5,8	26,0	27,7	8,6
F ₁₂	7,8	16,2	3,4	3,5	23,4	36,9	8,8
D ₁₃	16,8	16,6	3,6	4,1	21,8	31,4	5,7
E ₁₃	14,2	16,3	3,2	2,0	24,0	31,9	8,4
F ₁₃	11,8	12,9	3,6	2,5	22,9	39,9	7,4
D ₁₄	13,8	11,4	2,9	1,4	24,3	39,1	7,1
E ₁₄	12,2	13,8	3,3	1,1	24,2	37,7	7,7
F ₁₄	15,1	11,4	3,8	1,0	23,8	38,8	6,1
D ₁₅	9,9	27,3	2,3	7,5	16,8	28,1	8,1
E ₁₅	7,9	26,3	2,8	6,0	20,3	30,2	6,6
F ₁₅	5,8	22,2	2,4	6,9	20,8	35,1	6,8

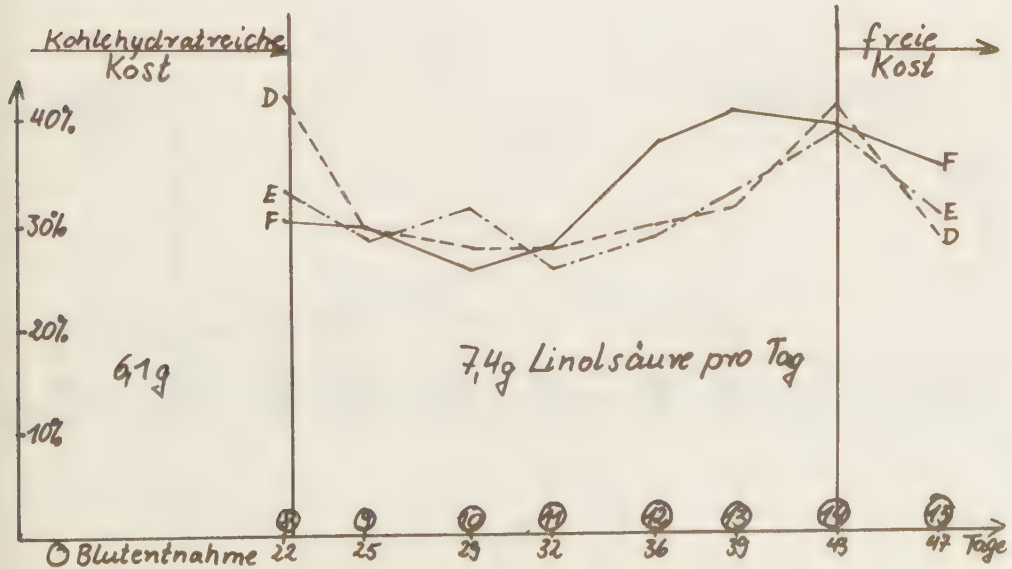
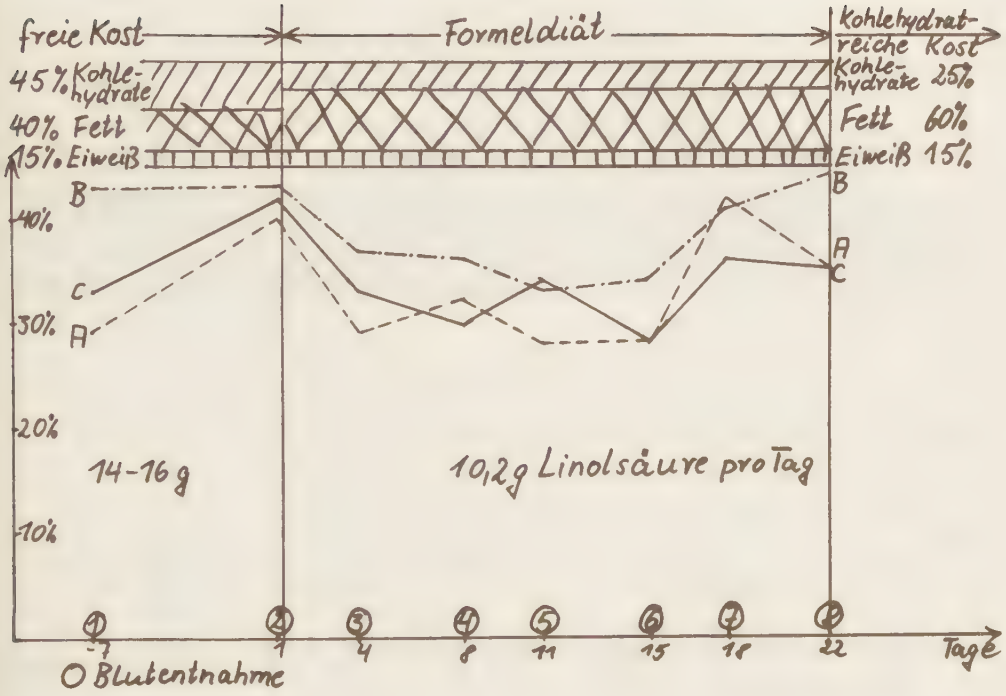
Palmitinsäure 16:0



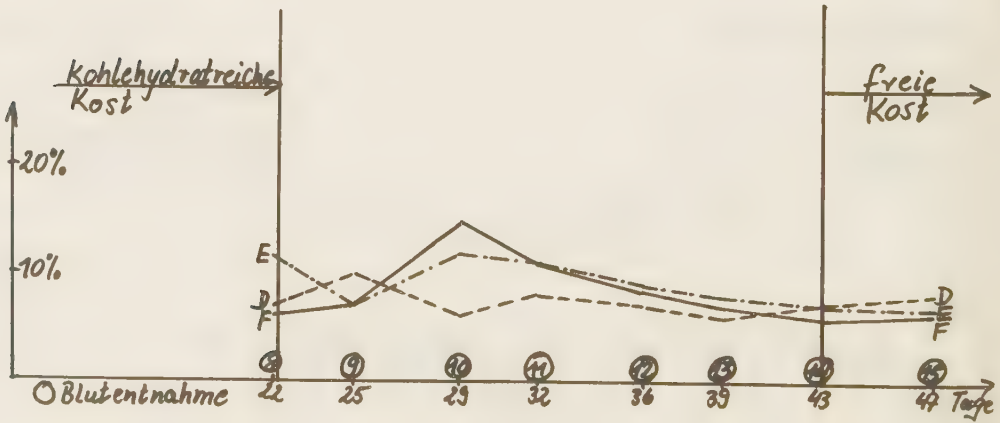
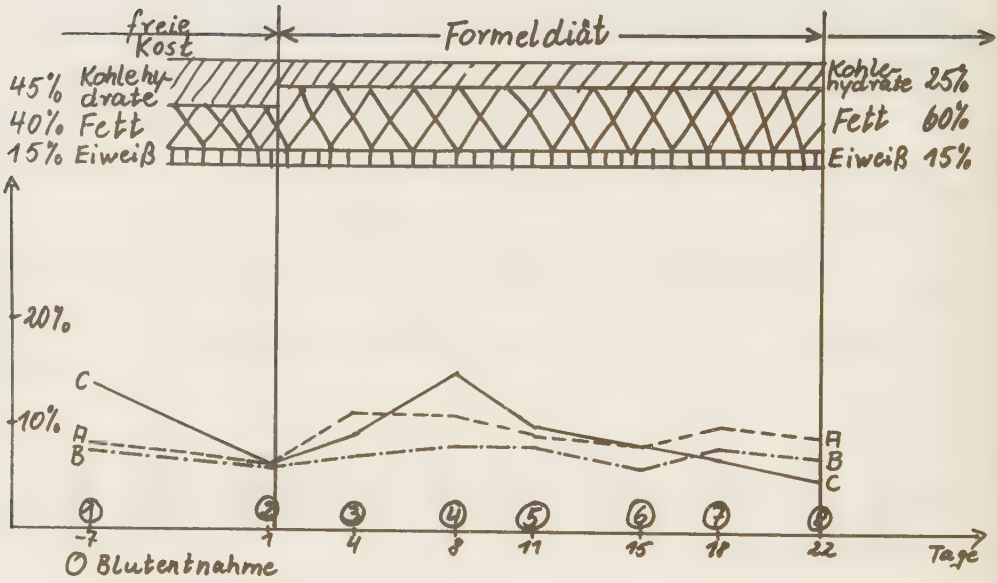
Ölsäure 18:1



Linolsäure 18:2



Arachidonsäure 20:4



- Palmitinsäure: Anhand der Kurven sieht man einen Anstieg des Palmitinsäurespiegels in den ersten Versuchstagen, der jedoch wieder bis zu den Ausgangswerten abfällt und gegen Ende des Versuchs sogar etwas unter den Ausgangswerten liegt.
- 16 : 0
- Ölsäure: Der Ölsäurespiegel verhält sich über die gesamte Versuchsdauer bei allen Versuchspersonen ziemlich konstant. Die Ausgangswerte entsprechen in etwa den Werten am Versuchsende.
- 18 : 1
- Linolsäure: Der Linolsäurespiegel fällt zu Beginn des Versuchs bei allen Versuchspersonen ab, hält sich dann auf einem Niveau konstant um gegen Ende des Versuchs wieder anzusteigen. Der Anteil der Linolsäure an den Fettsäuren der Cholesterinester des Serums lag bei der Zufuhr von 10,2 g Linolsäure pro Tag höher als bei der Zufuhr von 7,4 g Linolsäure pro Tag.
- 18 : 2
- Arachidonsäure: Der Arachidonsäurespiegel bleibt über den gesamten Versuch hinweg konstant.
- 20 : 4

IV. Diskussion:

Der Versuch über das Verhalten der Fettsäurenspiegel in den Cholesterinestern des menschlichen Serums bei fettreicher Formeldiät läßt sich anhand der Diagramme folgendermaßen zusammenfassen: Ölsäure und Arachidonsäure verhalten sich über die gesamte Versuchsdauer konstant, das heißt die Serumwerte vor Versuchsbeginn entsprechen denen während des Versuchs. Der Palmitinsäurespiegel weicht hiervon insofern ab, als es zu Anfang des Versuchs zu einem Anstieg der Werte kommt, dem jedoch ein Abfall des Serumspiegels folgt, der sogar bei Versuchsende unter den Ausgangswerten liegt. Das Verhalten des Linolsäurespiegels entspricht den Ergebnissen, die WOLFRAM und ZÖLLNER (21) in ihren Versuchen an erwachsenen Versuchspersonen zur Ermittlung des Bedarfs an Linolsäure gefunden haben. Es zeigt sich in unserem Versuch ein Abfall des Linolsäurespiegels zu Beginn, dies spricht für eine höhere Zufuhr von Linolsäure vorher. Eine Erklärung dafür kann deshalb in der Umstellung der Versuchspersonen von Normalkost die etwa 15 g Linolsäure enthält, auf die fettreiche Formeldiät zu suchen sein. Auch die Tatsache, daß der erwachsene Mensch über Vorräte an Linolsäure im Fettgewebe verfügt, läßt eine Deutung des Abfalls des Linolsäurespiegels zu Versuchsbeginn in dieser Richtung zu. Der unterschiedliche Linolsäurespiegel im Mittelteil des Versuchs bei fettreicher Ernährung und Linolsäurezufuhr von 7,4 g oder 10,2 g weist, im Vergleich zu den Ergebnissen von WOLFRAM und ZÖLLNER, darauf hin, daß der

Tagesbedarf des erwachsenen Menschen an Linolsäure vom Fettgehalt der Nahrung abhängig ist.

Da die Linolsäure den größten Anteil an essentieller Fettsäure in der menschlichen Nahrung darstellt und gleichzeitig Ausgangsstoff für weitere Fettsäuren des Linolsäuretyps im menschlichen Organismus ist, bedeutet ein Abfall des Linolsäurespiegels im Serum auch eine Verschiebung der Fettsäurenverteilung. Diese Veränderung der Fettsäurenverteilung im Blut und Gewebe geht den klinischen Symptomen eines Linolsäuremangels voraus. Prophylaktisch gesehen ist es von großer Bedeutung, einen Linolsäuremangel durch den Abfall der Cholesterinlinoleatwerte im Serum zu erkennen und ihm dann zu begegnen. Der Fettanteil in der Nahrung kann den Linolsäurebedarf beeinflussen.

V. Zusammenfassung:

Nachdem in vorausgegangenen Versuchen der Tagesbedarf des erwachsenen Menschen an Linolsäure untersucht wurde, diente diese Versuchsreihe dem Verhalten der Fettsäurespiegeln in den Cholesterinestern des menschlichen Serums bei fettreicher Formeldiät. Der Tagesbedarf von 7 g Linolsäure pro Tag für einen erwachsenen Menschen war in der Formeldiät mit 7,4 g bzw. 10,2 g enthalten. Die Richtigkeit dieser Größe spiegelt sich auch in den Diagrammen der einzelnen Fettsäuren wieder. Der Anteil der Linolsäure in den Cholesterinestern ändert sich in Abhängigkeit von der Linolsäurezufuhr und von der Zusammensetzung der Nahrung.

VI. Literaturverzeichnis:

- 1) AAES - JORGENSEN E.: Essential fatty acids
Physiol. Rev. 41, (1961), 1

- 2) BURR, G.D., M.M. BURR: On the nature and role of
the fatty acids essential in
nutrition.
J. biol. Chem. 86, (1930), 587

- 3) CALDWELL, M.D., H.F. Essential fatty acid deficiency
JONSSON, H.B. OTHERSEN Jr.: in an infant receiving pro-
longed parenteral nutrition
J. Pediatrics 81, (1972) 894

- 4) COLLINS, F.D., A.J. Plasma lipids in human linoleic
acid deficiency
SINCLAIR, J.P. ROYLE, D.A. Nutr. Metabol. 13 (1971) 150
COATS, A.T. MAYNARD, R.F.
LEONARD:

- 5) CRAIG, B.M., and J. Amer. Oil Chemista
N.L. MURPHY Soc. 36, 549 (1959)

- 6) DECKER, A.B., D.L. Chronic essential fatty acid
FILLERUP, J.F. MEAD: deficiency in mice
J. Nutrition 41, (1950) 507

- 7) DOLE, V.B., A.T. JAMES: J. Clin. Invest. 38, 1544 (1959)

- 8) von DORP, D.A.: Essentielle Fettsäuren und
Prostaglandine
Naturwissenschaften 56 (1969) 124

- 9) EBERHAGEN, D.: Zeitschr. f. analyt. Chemie
212. Bd., 1. Heft (1965)

- 10) von GRÖER F.: Zur Frage der praktischen Bedeutung des Nährwertbegriffes nebst einigen Bemerkungen über das Fettminimum des menschlichen Säuglings
Biochem.Z. 23, (1919) 311

- 11) HANSEN, A.E., M.E. HAGGARD, A.N. BOELSCHKE, D.J.D. ADAM, H.F. WIESE: Essential fatty acids in infant nutrition.
J. Nutrition 66, (1958) 565

- 12) HOLMAN, R.T.: Proc. Soc. exp. Biol. 76, 100 (1951)

- 13) HOLMAN, R.T.: Essential fatty acid deficiency. Progr. Chem. Fats and Other Lipids 9 (1968) 275

- 14) HOLT, L.E., Jr. H.C. TIDWELL, C.M. KIRK, D.M. CROSS, S. NEALE: Studies in fat metabolism: fat absorption in normal infants.
J. Pediat. 6, (1935) 427

- 15) HORNING, E., E.H. AHRENS Jr., S.R. LIPSKI, P.A. TURNER, and W.H. GOLDWATER: J. Lipid Res. 5, 20 (1964)

- 16) MANN, G.V.: Arch. int. Med. 100 77 (1957)

- 17) NYROP, M.: Lancet I, 914 (1956)

- 18) PENSLER, L., C. WHITTEN, J. PAULSRUD, R.T. HOLMAN: Serum fatty acid changes during fat-free intravenous therapy.
J. Pediatrics 78, (1971) 1067

- 19) SEHER, A.: Naturwiss. Fdsch. 15, 230 (1962)

- 20) SHAPIRO, S.L., and
L. FREEDMAN: Amer. J. Physiol. 181, 441 (1955)
- 21) SPERRY, W.M.: "Methods of Biochemical
Analyses", Vol. 2, p83
Interscience Publishers
New York - London 1955
- 22) STAHL, E.: Dünnschichtchromatographie.
Springer-Verlag, Berlin -
Göttingen - Heidelberg 1962
- 23) WIESE, H.F., A.E.HANSEN,
D.J.D.ADAM: Essential fatty acids in
infant nutrition.
J. Nutrition 66, (1958) 345
- 24) WOLFRAM, G., N.ZÖLLNER: Der Linolsäurebedarf des Men-
schen. Wiss.Veröff. der Dtsch.
Ges.Ernährung, Band 22
Steinkopff-Verlag 1971,
- 25) ZÖLLNER, N. und
D. EBERHAGEN: Untersuchung und Bestimmung
der Lipide im Blut
Springer-Verlag, Berlin -
Göttingen - New York 1965
- 26) ZÖLLNER, N. und
G.WOLFRAM: Klin. Wschr. 40, 1101 (1962)

L E B E N S L A U F

Name: Gerhard Hausmann
Geburtsdatum: 23. 6. 1945
Geburtsort: Mauerberg/Obb.
Eltern: Dr. Georg Hausmann, Arzt und Zahnarzt
Theresia Hausmann, geb. Wolfswinkler
Wohnort: 8261 Garching/Alz, Irmengardstraße 3

5 Jahre Volksschule
9 Jahre Gymnasium, Abitur 1966
10 Semester Zahnmedizinstudium
Approbation im Februar 1975

Seit 1. 4. 1975 als Assistenz Zahnarzt tätig.

Gerhard Hausmann

